ISSN 1561-5359. Штучний інтелект, 2017, № 3-4

УДК 621.865.8

С.В. Ковалевський, О.С. Ковалевська
Донбаська державна машинобудівна академія, Україна
вул. Академічна, 72, м. Краматорськ, 84300

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УПРАВЛІННІ ВИКОНАВЧИМИ РУХАМИ МЕХАНІЗМІВ З ПАРАЛЕЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ

S.V. Kovalevskyy, O.S. Kovalevska
Donbass State Engineering Academy, Ukraine
72, Akademichna str., 72, Kramatorsk, 84300

APPLICATION OF TECHNOLOGY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MANAGEMENT BY EXECUTING MOVEMENTS OF MECHANISMS WITH PARALLEL STRUCTURE

У статті розглянуто питання застосування нейронних мереж до створення системи ідентифікації та управління мобільними верстатами-роботами. Запропоновано новий підхід із застосуванням спектрального аналізу функцій поглинання механізмом верстата-робота збудженої акустичної хвилі з подальшою обробкою інформації на глибоких нейронних мережах каскадної архітектури. Математична модель процесу включає рівняння модифікованих активаційних функцій, що мають складану структуру зв'язків, і відображає взаємозв'язок акустичного спектру і координат актуальної точки об'єкта. Акустичний спектр відгуку, що є сумою збуджених, поглинених і відображених акустичних хвиль, піддається обробці за допомогою глибоких нейронних мереж. Побудована нейромережева еталонна модель, що дозволяє діагностувати поточну характеристику стану об'єктів, таких як конфігурація механізму, його геометричні параметри, динаміка переміщення вузлів.

Ключові слова: акустична діагностика, верстат-робот, нейронні мережі, еталонна модель.

The article deals with the application of neural networks to the creation of a system for identification and management of mobile machines - robots. A new approach with the use of spectral analysis of the absorption functions by the mechanism of the machine is proposed - the work of the excited acoustic wave with the further processing of information on deep neural networks of cascade architecture. The mathematical model of the process includes the equation of modified activation functions that have a folding bond structure, and reflects the interconnection of the acoustic spectrum and the coordinates of the actual point of the object. The acoustic spectrum of the response, which is the sum of the excited, absorbed and reflected acoustic waves, can be processed through deep neural networks. The neural network reference model was constructed, which allows to diagnose the current characteristics of the state of objects such as the configuration of the mechanism, its geometric parameters, the dynamics of nodes moving.

Keywords: acoustic diagnostics, machine - robot, neural networks, reference model.

Вступ

Управління виконавчими рухами технологічних машин з механізмами паралельної структури являє собою складну задачу, рішення якої може бути отримано на основі рішення задач кінематики та динаміки виконавчих механізмів. У результаті можуть бути створені умови для точного позиціонування робочих органів виконавчих механізмів при оптимальних швидкостях і прискореннях їх рухів по заданій траєкторії. Для цих цілей системи управління повинні бути оснащені інформативними системами ідентифікації об'єктів.

При діагностуванні верстатів з ЧПУ виникають труднощі, зумовлені їх великою складністю. Потрібні великі витрати часу на виявлення несправностей, застосування систем діагностики, складної контрольно-вимірювальної апаратури, а також наявність висококваліфікованого обслуговуючого персоналу. Діагностування

часто ускладнюється різноманіттям застосовуваних УЧПУ, недостатньою кількістю фахівців для їх обслуговування.

Постановка проблеми

На основі аналізу літературних даних, що присвячені завданням кінематики і динаміки виконавчих механізмів, встановлено, що є необхідність в оптимізації управління складними механізмами технологічних машин. Одним з основних напрямків у дослідженнях верстатів з паралельною кінематикою є питання точності позиціонування, забезпечення оптимального переміщення інструмента в умовах великих швидкостей виконавчих механізмів при заданій траєкторії. Для точного позиціонування робочих органів виконавчих механізмів при оптимальних швидкостях і прискореннях їх рухів по заданій траєкторії, необхідно мати інформативні системи ідентифікації об'єктів. Необхідно також враховувати ефективність процесів.

Аналіз останніх досліджень і публікації

Для здійснення контролю стану конструкцій у важкодоступних і недоступних місцях та ідентифікації тріщиноутворення в металевих конструкціях реєструють сигнали акустичної емісії і струми витоку, а потім накопичують ці сигнали в неперервному режимі та попереджають про наближення їх значень до критичних рівнів [3].

При механічній обробці для діагностування та прогнозування стану процесу застосовують акустичний сигнал у зоні обробці, та на основі даних акустичної емісії попереджають настання аварійної ситуації. Для розпізнавання стану процесу механічної обробки застосовують матричний метод, який дозволяє визначити працездатність об’єктів при зміненні одного з параметрів в часі або якщо необхідне паралельне знімання інформації по декількох параметрах, у чітко фіксований момент часу [4].

У верстатах з числовим програмним управлінням з метою підвищення точності механічної обробки застосовують нейронне прогнозування, що дає можливість автоматичної зміни траєкторії подачі ріжучого інструмента в процесі обробки і її корекції в перебігу зміни [5].

Важливим питанням є розробка математичних моделей, які дозволяють, по заздалегідь вимірюваним параметрам точності, приймати наступні рішення з подальшою обробкою заготовок на даному верстаті.

Мета дослідження

Метою дослідження є розробка системи ідентифікації і управління мобільним верстатом-роботом на основі спектрального аналізу функцій поглинання акустичної хвилі з подальшою обробкою інформації на глибоких нейронних мережах каскадної архітектури. Об'єктом дослідження є робоча зона мобільного верстата-робота.

Виклад основного матеріалу

Гіпотеза про взаємозв'язок розмірів і спектрів акустичних сигналів дозволила сформувати одночасно основні принципи створення методики акустичної діагностики комплексу характеристик деталі [6].

На підставі комплексу проведених робіт по дослідженню можливості генерування та застосування спектрів поглинання акустичних сигналів нормованого «білого шуму» просторовими механізмами з паралельною кінематикою встановлено, що такий підхід дозволяє досить точно ідентифікувати їх конфігурацію в статиці і динаміці – діагностувати координати траєкторій і позицій виконавчих органів і динамічних характеристик рухомих елементів верстатів-роботів.

Акустичний спектр відгуку, що являє собою суму збуджених, поглинених і відображених акустичних хвиль піддається обробці на глибоких нейронних мережах. Результатом такої обробки є модель, що інтегрує особливості багатошарових перцептронів і карт Кохонена. Таке об'єднання можливе за допомогою нейронних мереж каскадної конфігурації і модифікованим нейроподібним елементом.

Оскільки акустичний спектр поглиненого «білого шуму» змінюється при зміні конфігурації об'єкта, актуалізація нейромережевої моделі (математичної моделі, в якій рівняння модифікованих активаційних функцій мають складну структуру зв'язків) дозволяє встановлювати залежності (1):

$$F(A,t) \equiv x(t), y(t), z(t) \,, \tag{1}$$

де F(A, t) – акустичний спектр, x(t),y(t),z(t) – координати актуальної точки об'єкта. Ці дані можуть бути використані для управління позиціонування об'єкта.

У верстатах з паралельною кінематикою управління переміщеннями ускладнюється необхідністю узгодження довжин штанг для забезпечення прямолінійного руху, а функцією оптимальності є мінімізація переміщень з т. А в т. В. Тому еталонна модель повинна враховувати характеристики об'єкта, що постійно змінюються, а також використовуватися у процесі функціонування верстата. Створення такої моделі можливо на основі нейромережевого апроксиматора (рис. 1).

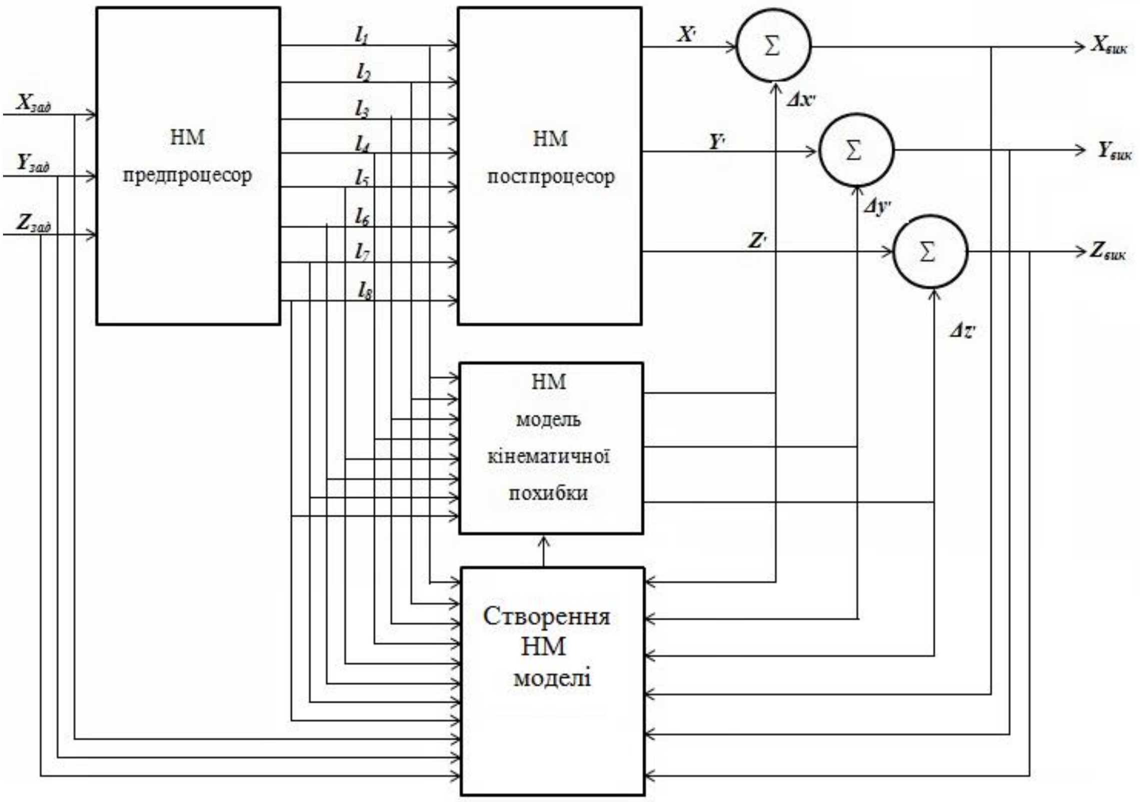


Рис. 1. Перетворення програмної координати у відпрацьовані координати переміщення інструмента (X, Y, Z) при одночасному переміщенні 8-ми ланок з нормованою дискретою переміщення

Особливість такої еталонної моделі в тому, що вхідними даними є координати траєкторій Хвх, Yвх, Zвх, рекомендовані програмою, які перетворюються в переміщення стрічки і робочого органу станка Хвих, Yвих, Zвих. Значення Δx, Δy,

Δz є вихідними значеннями нейромережевої моделі кінематичної помилки та враховуються при коригуванні координат траєкторій X ', Y', Z '. Причому, ця модель створюється безперервно у процесі функціонування об'єкта, на основі характеристик стану робочої зони станка.

На підставі вихідних програмних даних про координати x, y, z, які перетворюються в переміщення робочого інструмента можна отримати відомості про стан штанг, а з огляду на конфігурацію штанг, отриману за допомогою обробки акустичного спектра скорегувати точне положення робочого органу верстата.

Робота еталонної моделі заснована на використанні принципів каскадної нейронної мережі. Точність моделювання на кожному наступному кроці збільшується за рахунок ускладнення моделі. Глибокі нейронної мережі засновані на тому принципі, що кожний наступний нейронний шар вивчає новий рівень абстрактності даних, а додавання нового шару в модель покращує варіаційну межу логарифма – правдоподібності моделі.

Використання математичних методів, у тому числі нейронних мереж, дозволяє виявити значущі і незначущі фактори, визначити взаємозв'язок вхідних і вихідних параметрів. Для цього необхідно виконати аналіз кортежів при підготовці експерименту, а потім ідентифікувати по акустичному сигналу необхідні параметри. Причому, чим складніший вплив на об'єкт, тим більше індивідуальних властивостей об'єкта проявляється в функції відгуку, тому застосування білого шуму, як проявника, виправдано, для виявлення властивостей об'єкта (рис.2).

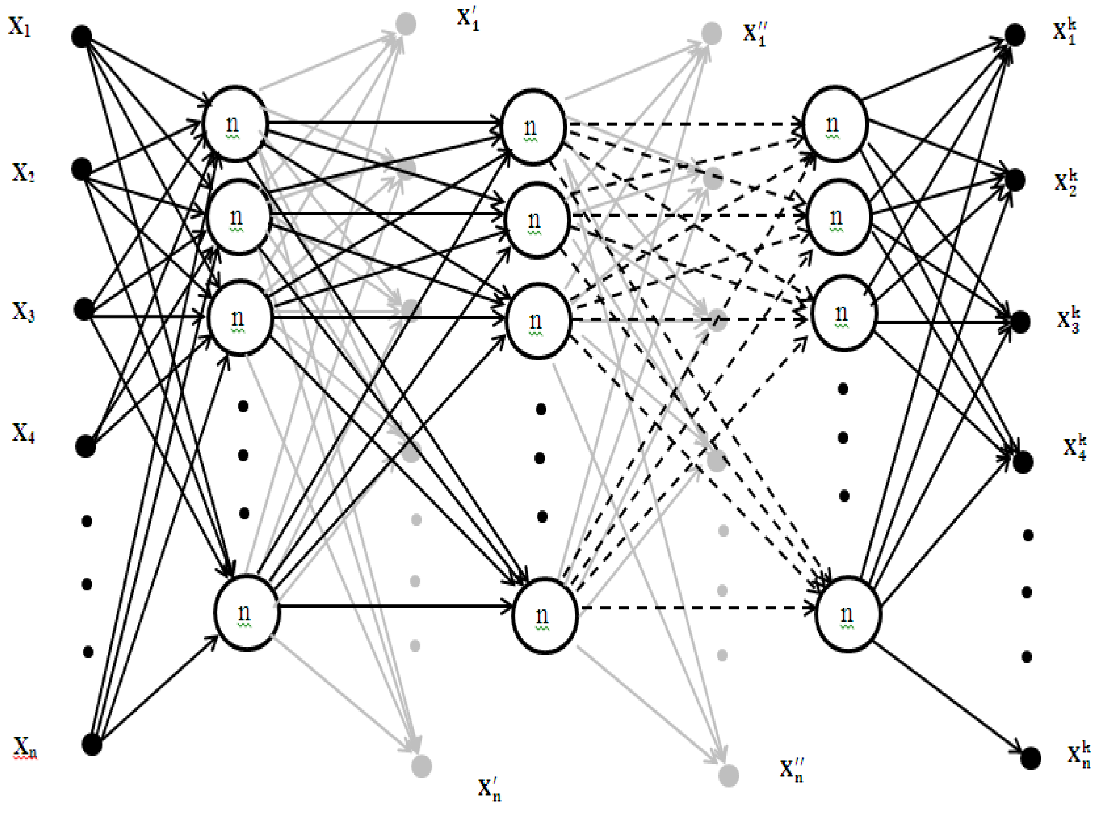


Рис. 2. Взаємозв'язок вхідних і вихідних параметрів моделі

За створеної експериментальної бази були побудовані нейромережеві моделі діагностики конфігурації механізму; геометричних параметрів механізму при

працюючому мотор-шпинделі; динаміка переміщення вузлів механізму експериментального стенда зі змінною швидкістю і навантаженням на привід; зміни температури об'єкта.

Створені нейромережеві моделі були піддані перевірці на адекватність за критерієм Фішера. Адекватність моделей підтверджена багаторазовим перевищенням розрахункового значення критерію Фішера над його табличним значенням для заданої ймовірності помилки для моделей входів - частотних діапазонів акустичного спектра, побудованих на строк кортежу вихідних даних.

Висновки

У роботі розроблено методику акустичної діагностики для механізмів технологічних машин (верстатів-роботів), що дозволяють діагностувати різні їх стани в різних умовах. Показана можливість використання запропонованого підходу до управління складними технологічними машинами, такими як верстати з механізмами, на основі паралельної кінематики для підвищення точності позиціонування виконавчих механізмів, забезпечення їх динамічної настройки і оптимізації траєкторій переміщень робочих органів обладнання (ріжучого інструменту). Розроблена методика акустичної діагностики для механізмів верстатів-роботів дозволяє розширити діапазон можливостей підвищення точності і продуктивності їх роботи.

Таким чином, на основі виконаного аналізу існуючих методів забезпечення точності верстатів з паралельною кінематикою і методів діагностики процесів механічної обробки розроблена концепція управління верстатом з паралельною кінематикою із застосуванням акустичного контролю на основі еталонної моделі на глибоких нейронних мережах. Обґрунтована та підтверджена можливість управління механічною обробкою на основі еталонної моделі на глибоких нейронних мережах. Це стало можливим на основі спектрального аналізу функцій поглинання механізмом верстата-робота збудженої акустичної хвилі «білого шуму» з подальшою обробкою інформації на глибоких нейронних мережах каскадної архітектури.

Отримані результати дослідження підтверджують положення, викладені в роботі [13], де авторами стверджується, що управління виконавчими рухами технологічних машин з механізмами паралельної структури являє собою складну задачу, рішення якої може бути отримано на основі рішення задач кінематики та динаміки виконавчих механізмів. У результаті можуть бути створені умови для точного позиціонування робочих органів виконавчих механізмів при оптимальних швидкостях і прискореннях їх рухів по заданій траєкторії. Для цих цілей системи управління повинні бути оснащені інформативними системами ідентифікації об'єктів. Для підтвердження цього пропонуються результати експериментальних досліджень, які дають підстави для створення систем діагностики кінематики і динаміки механізму, на базі якого авторами створюються мобільні верстати-роботи для застосування в реконфігурованих виробничих системах механічної обробки.

Нейронне прогнозування зміни форми і розмірів деталей в часі дає можливість автоматичної зміни траєкторії подачі інструмента у процесі обробки і її корекції протягом зміни, що дозволить істотно підвищити точність обробки на конкретному верстаті, що наділений індивідуальною характеристикою жорсткості та геометричною точністю. Система нейрокерування наділена універсальністю, дозволяючи проводити швидке навчання в конкретних умовах обробки для будь-якого верстата. Застосування neural control технологій дозволяє підвищити

продуктивність механічної обробки за рахунок підвищення точності обробки шляхом зміни положення і траєкторії руху ріжучої кромки інструмента з урахуванням геометричної неточності верстата і температурних деформацій, а також зміни характеристик жорсткості верстата.

Література

1. Isaksen A., Kalsaas B.T. Suppliers and strategies for upgrading in global production networks: the case of a supplier to the global automotive industry in a high-cost location. // European Planning Studies. – 2009. Vol. 17(4). – P. 569-585.
2. Dreval' A., Vasilev V., Vinogradov D., Malkov O. Measuring Diagnostic Stand for Experimental Researches in Technology Machining. // Nauka i Obrazovanie. –2014. – № 12. – P. 22-58.
3. High precision parallel robots for micro-factory applications / Clavel R. and others // Colloquium. –2005. – P. 85–296.
4. Бушуев В.В. Механизмы параллельной структуры в машиностроении / В.В. Бушуев, И.Г. Хольшев // СТИН. – 2001. – №1. С. 3 - 8.
5. Гаврилов В.А., Кольцов А.Г., Шамутдинов А.Х. Классификация механизмов для технологических машин с параллельной кинематикой // СТИН. – 2005. – № 9. – С. 28‒31.
6. Кузнєцов Ю.М., Крижанівський В.А., Скляров Р.А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою //Виснік ЖДТУ. – 2005. – №1. – С. 332-333.
7. Kruglov I.A. Neural networks modeling of multivariable vector functions in ill-posed approximation problems / I.A. Kruglov, O.A. Mishulina // Journal of Computer and System Sciences International. – 2013. – Vol. 52, No. 4. – P. 503-518.
8. Yusimit Z., Yoandrys M., Arlys L., Roberto B. Influence of the cutting parameters on flank wear of coated inserts during turning of AISI 316L // Enfoqute. – 2015. – № 6. – P.13-24.
9. Вороненко В.П., Рязанов Д.Ю. Повышение эффективности изготовления деталей типа тел вращения при нейросетевом управлении // Журнал «Технология Машиностроения». – 2010. – №3. – С. 49-52.
10. Кириченко А.М. Проведення до зони обробки жорсткості та податливості обладнання з механізмами паралельної структури / А.М. Кириченко // Вісник Національного технічного університету Україні „Київський політехнічний інститут”. Серія „Машинобудування”. – 2010. – №59. – С. 205-210.
11. Глушко Е.А., Радченко С.Г. Устойчивое моделирование технологических процессов и систем // Вісник Національного технічного університету України КПІ. Серія „Машинобудування”. – 2010. – №58. – С. 12-17.
12. Kovalevskyy S.V. Acoustic Monitoring with Neural Network Diagnostics / S.V. Kovalevskyy, O.S. Kovalevska // American Journal of Neural Networks and Applications. – 2015. – Vol. 1, No. 2. – P. 39-42. – doi: 10.11648/j.ajnna.20150102.12
13. Size control products using spectrum of natural vibrations and neural networks machining / S.V. Kovalevskyy, P Dašić, I.N. Starodubcev, O.S. Kovalevska // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2012. – № 2 (27). – С. 38–43.

Literatura

1. Isaksen A., Kalsaas B.T. Suppliers and strategies for upgrading in global production networks: the case of a supplier to the global automotive industry in a high-cost location. // European Planning Studies. – 2009. Vol. 17(4). – P. 569-585.
2. Dreval' A., Vasilev V., Vinogradov D., Malkov O. Measuring Diagnostic Stand for Experimental Researches in Technology Machining. // Nauka i Obrazovanie. –2014. – № 12. – P. 22-58.
3. High precision parallel robots for micro-factory applications / Clavel R. and others // Colloquium. –2005. – P. 85–296.
4. Bushuev V.V. Mehanizmyi parallelnoy strukturyi v mashinostroenii / V.V. Bushuev, I.G. Holshev // STIN. – 2001. – #1. S. 3 - 8.
5. Gavrilov V. A., Koltsov A. G., Shamutdinov A. H. Klassifikatsiya mehanizmov dlya tehnologicheskih mashin s parallelnoy kinematikoy // STIN. – 2005. – # 9. – S. 28
6. Kuznietsov Yu.M., Kryzhanivskyi V.A., Skliarov R.A. Suchasnyi stan, prohnozuvannia i perspektyvy rozvytku verstativ z paralelnoiu kinematykoiu //Vysnik ZhDTU. – 2005. – №1. – S. 332-333.
7. Kruglov I.A. Neural networks modeling of multivariable vector functions in ill-posed approximation problems / I.A. Kruglov, O.A. Mishulina // Journal of Computer and System Sciences International. – 2013. – Vol. 52, No. 4. – P. 503-518.
8. Yusimit Z., Yoandrys M., Arlys L., Roberto B. Influence of the cutting parameters on flank wear of coated inserts during turning of AISI 316L // Enfoqute. – 2015. – № 6. – P.13-24.
9. Kyrychenko A.M. Provedennia do zony obrobky zhorstkosti ta podatlyvosti obladnannia z mekhanizmamy paralelnoi struktury / A.M. Kyrychenko // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu Ukraini „Kyivskyi politekhnichnyi instytut”. Seriia „Mashynobuduvannia”. – 2010. – №59. – S. 205-210.

10. Glushko E.A., Radchenko S.G. Ustoychivoe modelirovanie tehnologicheskih protsessov i sistem // VIsnik NatsIonalnogo tehnIchnogo unIversitetu UkraYini KPI. SerIya „Mashinobuduvannya”. – 2010. – #58. – S. 12-17.
11. Kovalevskyy S.V. Acoustic Monitoring with Neural Network Diagnostics / S.V. Kovalevskyy, O.S. Kovalevska // American Journal of Neural Networks and Applications. – 2015. – Vol. 1, No. 2. – P. 39-42. – doi: 10.11648/j.ajnna.20150102.12
12. Size control products using spectrum of natural vibrations and neural networks machining / S.V. Kovalevskyy, P Dašić, I.N. Starodubcev, O.S. Kovalevska // Вісник Донбаської державної машинобудівної академії. – 2012. – № 2 (27). – С. 38–43.

RESUME

S.V. Kovalevskyy, O.S. Kovalevska

Application of technology of artificial intelligence in management by executing movements of mechanisms with parallel structure

The diagnosing machines there are difficulties due to their great complexity. It takes a lot of time to detect malfunctions, use of diagnostic systems, complex control and measuring equipment, and also the presence of highly skilled attendants. Diagnosis is often complicated by the variety of used, the lack of specialists for their maintenance. Therefore, it is important to develop diagnostic and control systems in the working space of machines.

Based on the analysis of literary data devoted to the problems of kinematics and dynamics of executive mechanisms, it has been established that there is a need to optimize the management of complex mechanisms of technological machines.

The purpose of the study is to develop a system for identification and management of a mobile machine tool - a robot based on the spectral analysis of acoustic wave absorption functions with the further processing of information on deep neural networks of cascade architecture.

In machines with parallel kinematics of displacement management is complicated by the necessity of coordinating the lengths of the rod to provide straightforward motion, and the function of optimality is minimization of displacements from t. Therefore, the reference model should take into account the characteristics of the object that is constantly changing, and also used in the process of operation of the machine tool. Creation of such a model is possible on the basis of a neural network approximation.

The peculiarity of such a reference model is that the input data is the coordinates of the trajectories recommended by the program, which are converted into the movement of the tape and the working organ of the machine tool. The work of the reference model is based on the use of the principles of cascade neural network. Deep neural networks are based on the principle that each successive neuron layer examines a new level of abstraction of dashing, and adding a new layer to the model improves the variation of the logarithm - the reliability of the model. By the created experimental basis neural network models of diagnostics of the configuration of the mechanism were constructed; geometric parameters of the mechanism when working motor-spindle; dynamics of movement of knots of the mechanism of the experimental stand with variable speed and load on the drive; temperature change of the object.

The method of acoustic diagnostics for the mechanisms of technological machines (machines - robots) is developed, which allow diagnosing their different states in different conditions. The possibility of using the proposed approach to the management of complex technological machines, such as machines with mechanisms based on parallel kinematics, is shown to increase the accuracy of the positioning of actuators, to ensure their dynamic adjustment and optimization of the trajectories of displacements of work equipment bodies (cutting tools). The developed method of acoustic diagnostics for mechanisms of machine tools - robots allows expanding the range of possibilities to increase the accuracy and productivity of their work.

Надійшла до редакції 17.11.2017

